

УДК 629.017

Д. І. ПЕТРЕНКО, наук. співр., ДВНЗ «ПДАБтаА», Дніпропетровськ;
М. В. ДЯЧУК, канд. техн. наук, доц. ДВНЗ «ПДАБтаА», Дніпропетровськ

МОДЕЛЮВАННЯ АКТИВНОГО ВАКУУМНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ГІДРАВЛІЧНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ

Представлена імітаційна модель активного вакуумного підсилювача гальмівної системи легкового автомобіля в середовищі Simscape/MatLab як елемент системи курсової стійкості ESP. Складена Simscape-модель електромагнітного клапану (соленоїду) з системою керування, реалізованою в середовищі StateFlow/MatLab. Виконано тестування моделі в двох режимах: перший – робота підсилювача в пасивному режимі (з вимкненим соленоїдом); другий – з активацією соленоїда (без втручання водія).

Ключові слова: активний підсилювач, система курсової стійкості, соленоїд, гальмівна система.

Актуальність. Інтелектуальні системи безпеки автомобіля на сьогоднішній день стали його невід'ємною частиною. Збільшення таких систем в кількості та інтеграція деяких у більш складні передбачає чіткі алгоритми функціонування. Одною з високо ієрархічних систем контролю є електронна система курсової стійкості ESP.

Розробка та тестування алгоритмів мехатронних систем керування пов'язано з використанням точних та швидких імітаційних моделей контрольованих об'єктів. Таким чином, модель активного підсилювача гідравлічної гальмівної системи повинна бути універсальною, тобто мати можливість параметризації і можливість інтеграції з іншими компонентами системи ESP [1].

Аналіз основних досягнень і літератури. На даний час у вітчизняних джерелах інформації не спостерігаються робіт наукового характеру в даному напрямку. Зарубіжні науковці представляють свої розробки досить стисло, не розкриваючи в повній мірі теорію [2, 3]. В більшості випадків мехатронні імітаційні моделі складаються з відносно простих імітаційних моделей реального об'єкту та складної системи контролю (Fuzzy-neural control). В такому випадку, не враховуються особливості конструкції механічної системи, робочих процесів та їх фізичних параметрів.

Постановка задачі. Головною метою даної роботи є складання Simscape-моделі активного вакуумного підсилювача з електромагнітним приводом (соленоїдом) як елемента системи ESP. Додаткова мета - розробити алгоритм керування соленоїдом.

Матеріали досліджень. Активний вакуумний підсилювач (рис. 1, а) є частиною системи курсової стійкості ESP, який виконує функцію підвищення початкового тиску перед роботою системи ESP. В існуючих конструкціях ESP регламентований початковий тиск, який генерує активний підсилювач без втручання водія, становить 1 МПа. Підсилювач такого типу використовується також в системах автоматичного екстреного гальмування без водія (Automatic Emergency Braking).

В роботі представлена імітаційна модель активного вакуумного підсилювача у складі з головним гальмівним циліндром та гальмівною педаллю. При урахуванні конструктивних параметрів транспортного засобу використовувалось джерело [5]. На рис. 2 представлений загальний вид моделі активного підсилювача з головним гальмівним циліндром, яка створена в пакеті Simulink/Simscape. Під маскою блоків 4 («Гальмівна педаль») та 14 («Головний гальмівний циліндр») моделі, що освітлювались в попередніх публікаціях [6].

© М. В. Дячук, Д. І. Петренко, 2014

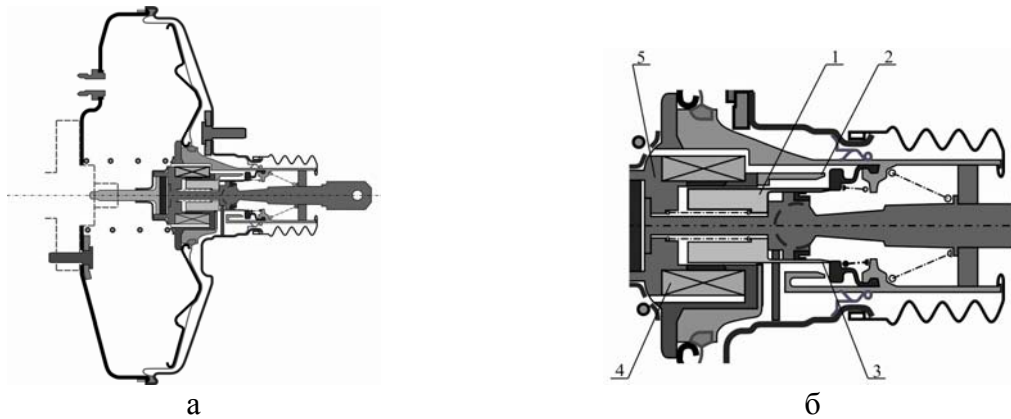


Рисунок 1 – Активний вакуумний підсилювач гальм: а – загальний вид; б – розподільвач з соленоїдом; 1 – осердя соленоїду; 2 – вакуумний клапан; 3 – атмосферний клапан; 4 – котушка соленоїду; 5 – статор

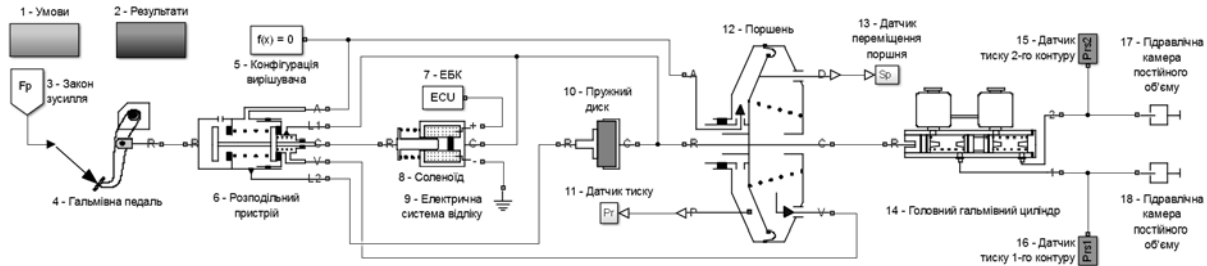


Рисунок 2 – Загальний вид імітаційної моделі у середовищі Simulink/Simscape

Імітаційна модель розподільвача (розглянута в роботі [5]) модернізована наступним чином. Розподільвач приводиться в дію від штоку гальмівної педалі та від соленоїду. Через порт 1 (див. рис. 2) («Зв'язок зі штоком педалі (R)») передається поступальний рух штоку педалі. Блоки 6, 7, 8, 9 імітують гумовий затвор. За допомогою пневматичних дроселів (блоки 22 і 23) та переміщення затвору виконується регуляція подачі атмосферного повітря до робочої камери підсилювача. Оскільки кромками соленоїда, поршня та гумовим затвором формуються вакуумний та атмосферний клапани (рис. 1), то в моделі реалізований зв'язок з соленоїдом через блок 12.

Модель соленоїда керується за допомогою електронного блоку керування (блок 7, рис. 2). Цей блок містить програму керування соленоїдом, що реалізована в середовищі StateFlow програмної мови MATLAB. StateFlow-модель представлена блоком 8, рис. 4. Модель керування соленоїдом працює наступним чином. На початку розрахунку на соленоїд подається напруга (4 В) в режимі широтно-імпульсною модуляції для приведення соленоїда в активний стан. В моделі за генерацію ШІМ відповідає блок 9. При появі сигналу від системи курсової стійкості на генерацію тиску в гальмівній системі, напруга на соленоїді збільшується до 12 В та зменшується до 4 В, коли сигнал припинився. Дана модель припускає інтеграцію з системою BAS (система екстреного гальмування), де використовується активний підсилювач гальм. На даному етапі модель не підготовлена до таких тестувань.

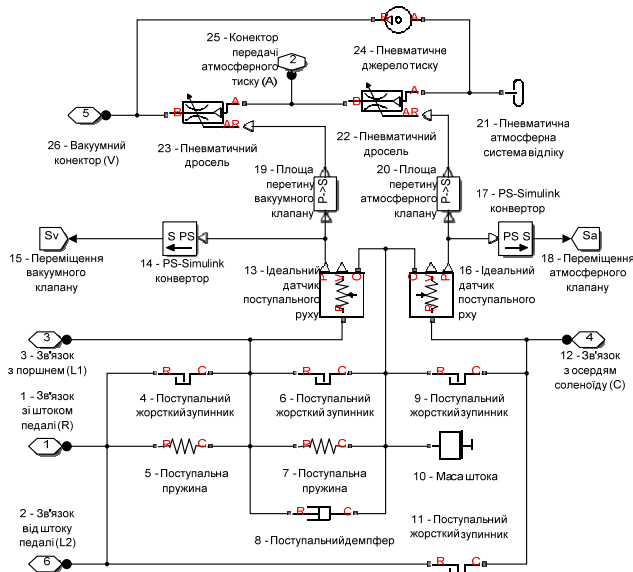


Рисунок 3 – Simscare-модель розподільного пристрою підсилювача (блок 6, рис. 2)

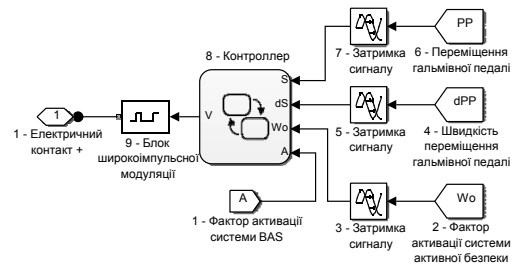


Рисунок 4 – Підсистема блоку 8 ЕБК (див. рис. 2)

Соленоїд підсилювача (рис. 1, б) вбудований в розподільвач, в якому за рахунок переміщення осердя здійснюється переміщення вакуумного та атмосферного клапану. Під маскою блока «8 - Соленоїд» (рис. 2) Simscare-модель соленоїда представлена на рис. 3. Блоки 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 імітують електромагнітну частину, а блоки 13, 14, 15, 16 – механічну частину соленоїду. Блок 9, 7, 8 імітують магнітний опір осердя соленоїда, стаціонарної частини (статора) та частини статора, що знаходиться перед осердям відповідно. Механічна та електромагнітна частини поєднуються блоком 10 («магнітно-механічний актуатор»). В цілому модель відповідає теорії моделювання соленоїда, що наведена в джерелах [6, 7].

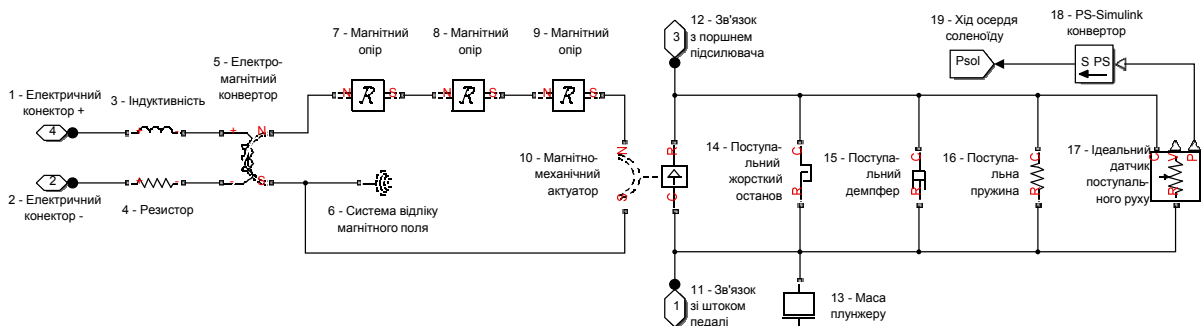


Рисунок 5 – Simscare-модель двопозиційного соленоїду (блок 8, рис. 2)

Блок 12 («Поршень», див. рис. 2) представляє собою Simscare-модель (рис. 6), що імітує виконавчу частину підсилювача. Блоки 7, 20 імітують атмосферну (робочу) та вакуумну камери з поршнем. Зворотна пружина, що повертає поршень підсилювача в початковий стан, реалізується за допомогою блоків 12, 14, 16.

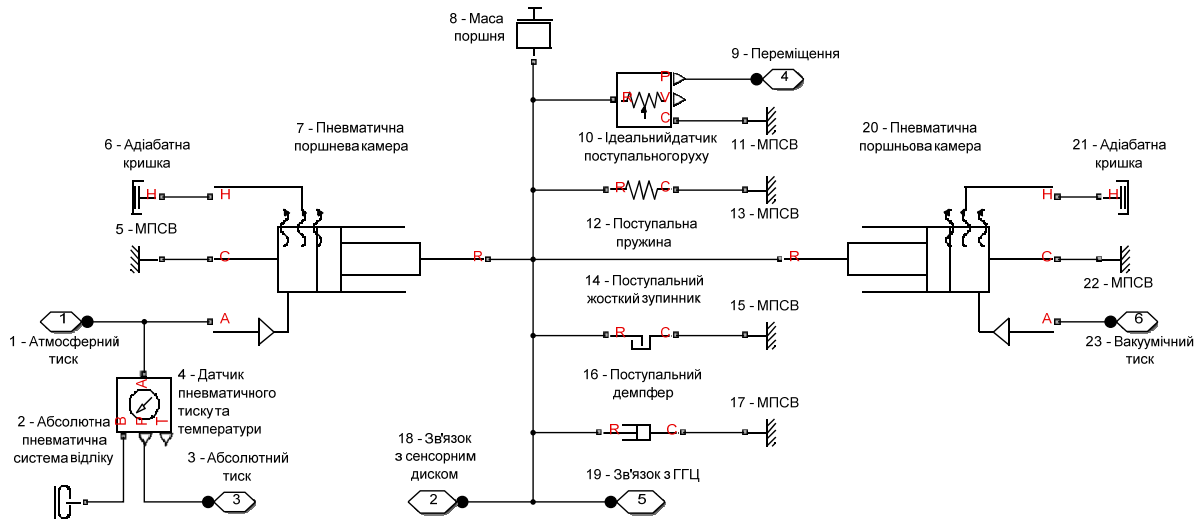


Рисунок 6 – Simscape-модель виконавчої частини підсилювача

Результати досліджень. Виконаємо імітацію робочого процесу активного підсилювача в системі з гальмівною педаллю та головним гальмівним циліндром в двох режимах. Перший тест полягає в імітації роботи активного підсилювача при натисканні водієм на гальмівну педаль з вимкненим соленоїдом (рис. 6, 7, 8). Другий тест – в імітації роботи підсилювача в автоматизованому режимі, без втручання водія (рис. 9, 10, 11, 12, 13).

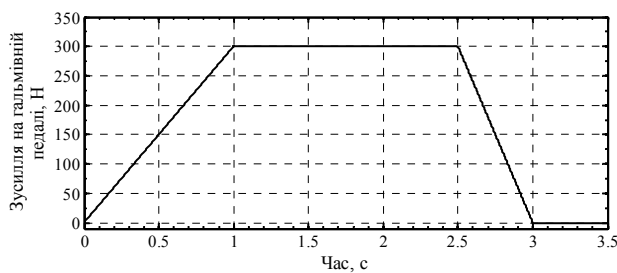


Рисунок 7 – Графік зміни зусилля на гальмівній педалі

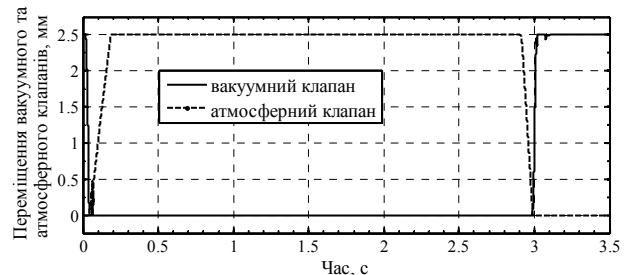


Рисунок 8 – Графік переміщення клапанів розподільвача

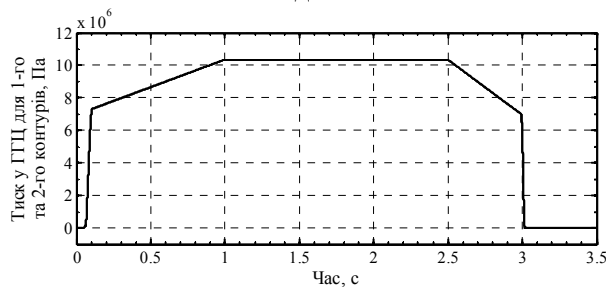


Рисунок 9 – Графік тиску ГГЦ для гальмівних контурів

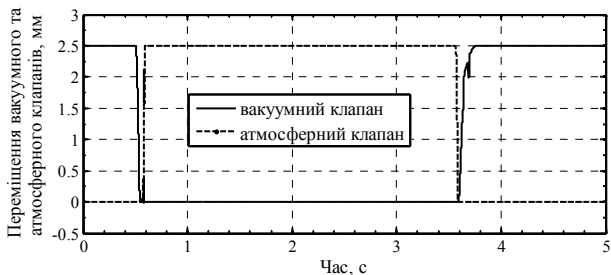


Рисунок 10 – Графік переміщення клапанів розподільвача

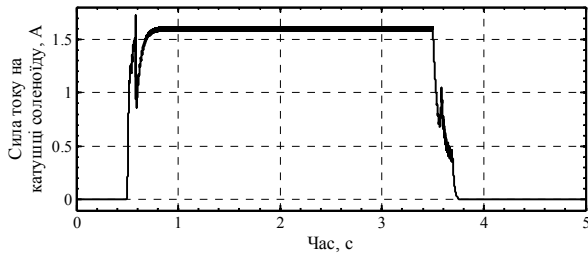


Рисунок 11 - Графік зміни сили току на соленоїді

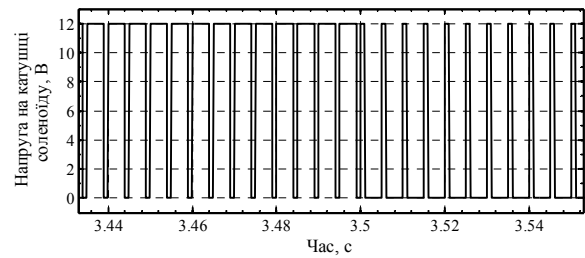


Рисунок 12 – Графік ШІМ напруги на соленоїді

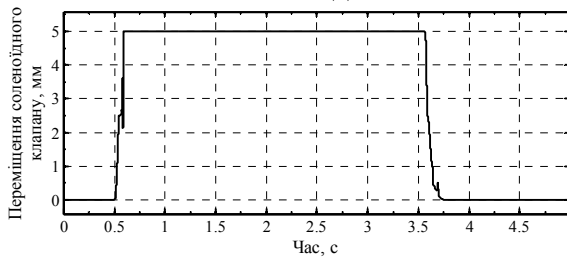


Рисунок 13 – Графік переміщення осердя соленоїду

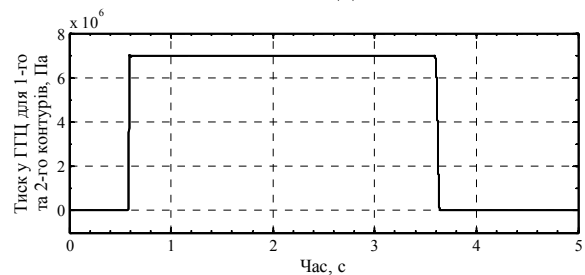


Рисунок 14 – Графік тиску ГГЦ для гальмівних контурів

Висновки. Згідно з отриманими результатами видно, що імітаційна модель максимально наближено до реальності реагує на задані умови роботи. В першому тесті імітувалась робота підсилювача в пасивному режимі, тобто при вимкненому соленоїді водій здійснює гальмування шляхом натискання на педаль. При цьому максимальне зусилля на педалі складає 300 Н (рис. 7). На рис. 8 видно рух атмосферного та вакуумного клапанів розподільвача. Характеристика зростання тиску в ГГЦ при даному законі сили на педалі представлена на рис. 9, де спостерігається декілька характерних ділянок. Перша ділянка – різке зростання гідравлічного тиску до 7 МПа пов'язано з роботою підсилювача, друга – тиск генерується завдяки збільшенню зусилля на гальмівній педалі та складає більше 10 МПа. Інші ділянки характеризуються зворотними процесами.

Другий тест виконаний з активацією соленоїду, без водія. При подачі напруги з ШІМ (рис. 12) соленоїд досить швидко приводиться в дію, що видно по переміщенню клапанів (рис. 10) та самого соленоїду (рис. 13). Максимальне переміщення соленоїду обмежено до 5 мм, а кожний з клапанів розподільвача – до 2,5 мм, що обумовлено конструкцією. На рис. 11 зображений графік зміни сили току, який є результатом ШІМ напруги. В автоматизованому режимі підсилювач створює приблизно 7 МПа (рис. 14).

Модель активного підсилювача на достатньому рівні імітує робочий процес досліджуваного об'єкту, демонструє стійкість та швидкодію обчислень і надалі буде використовуватись у створенні комплексної моделі системи курсової стійкості типу ESP/VSC легкового автомобіля.

Список літератури: 1. *Volkswagen*. Electronic stability programme. Design and function. Self-study programme №. 204. – Volkswagen AG, Wolfsburg, 1998. – 64 p. 2. *Schofield B*. Model-based vehicle dynamics control for active safety. PhD thesis. - Lund University, Sweden, 2008. – 186 p. – ISSN 0280-5316. 3. *T. S. Kinjawadekar*. Model-based design of

electronic stability control system for passenger cars using CarSim and Matlab-Simulink. MsC thesis. The Ohio State University. 2009. – 87 p. **4.** Программа самообучения 409: Audi A4. - Audi AG, Ингольдштат, Германия, 2008. – 76 с. **5.** *Петренко Д.І.* Імітаційне моделювання вакуумного підсилювача та ГГЦ гальмівної системи легкового автомобіля / Петренко Д.І., Дячук М.В. // Сб. науч. тр.: Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин; Вып. 66 - Днепропетровск: ГБУЗ ПГАСА, 2012, С. 216-223. **6.** *Giurgiutiu V.* Mechatronics. Modeling, analysis, and design with MATLAB. Second edition / V. Giurgiutiu, S. E. Lyshevski / - New York: CRC Press, USA, 2009. – 950 p. – ISBN -10: 1-4200-6562-9. **7.** *Bishop R.H.* The mechatronics handbook. - New York: CRC Press, USA, 2002. – 1245 p. – ISBN 0-8493-0066-5/02.

Надійшла до редколегії 08.03.2014

УДК 629.017

Моделювання активного вакуумного підсилювача гідравлічної гальмівної системи / М. В. Дячук, Д. І. Петренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 146-151. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-6840.

Представлена имитационная модель активного вакуумного усилителя тормозной системы легкового автомобиля в среде Simscape/MatLab, как элемент системы курсовой устойчивости ESP. Составлена Simscape-модель электромагнитного клапана (соленоида) с системой управления, реализованного в среде StateFlow/MatLab. Выполнено тестирование модели в двух режимах: первый – работа в пассивном режиме (с выключенным соленоидом); второй – с активацией соленоида (без вмешательства водителя).

Ключевые слова: активный усилитель, система курсовой устойчивости, соленоид, тормозная система.

Modeling of the active vacuum amplifier of the hydraulic brake system / M. V. Dyachuk, D. I. Petrenko // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 146-151. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2078-6840.

Simulation model of car's active braking booster as an element of yaw stability control ESP is presented by Simscape/MatLab software. The Simscape solenoid model with control system are composed. Control system is implemented in software StateFlow/MatLab. Model testing is performed in two modes: first – execution in passive mode (without solenoid); second - with activation of solenoid (without driver influence).

Keywords: active booster, electronic stability program, solenoid, braking system.